

2003年 6月27日 10時21分

フルカワデンコウ テキザ イサンブ

No. 118 P. 2



DOCKET NO.: 216088US8

IN THE UNITED STATES PATENT & TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF :

MIZUKI OIKE ET AL.

EXAMINER: THOMAS, BRANDIN.

SERIAL NO: 09/986876 :

FILED: NOVEMBER 13, 2001

: GROUP ART UNIT: 2873

FOR: WAVELENGTH LOCKER MODULE :
AND WAVELENGTH
CONTROLLER FOR OPTICAL
COMMUNICATION

DECLARATION UNDER 37 C.F.R. §1.131

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

We, Hiroshi Matsuura, Satoru Abe and Mizuki Oike, herein declare as follows:

1. We are the Applicants in the above-referenced patent application Serial No. 09/986,876, and we are familiar with the contents of the above-identified application.

2. During the time we made the invention described in the above-identified application, and at the time we executed the documents for the above-identified application, we were employed by The Furukawa Electric Co., Ltd., the Assignee for the above-identified application.

3. We actually reduced to practice the present invention described and claimed in claims 1-3, 6 and 8 in the above-identified application, Serial No. 09/986,876, prior to March 15, 2001, the effective filing date of U.S. Patent Application Serial No. 09/814,693(US 2002/0051270A1), which has been asserted in the outstanding Office Action to reject claims 1-3, 6 and 8.

TECHNOLOGY CENTER 2800

JUL - 8 2003

RECEIVED

2003年 6月27日 10時21分

フルカワデンコウ テキザ イサンブ

No. 118 P. 3

4. As evidence of the actual reduction to practice, we have attached hereto attachment A, which is a flash report which is distributed internally by Assignee, The Furukawa Electric Co., Ltd.

5. With the exception of any redacted (masked-out portions) containing dates or proprietary information (such as development schedule, competitors' information and the like), the aforementioned document (attachment A) is known to us to be a true copy thereof.

6. The flash report of attachment A is dated February 1, 2001, which was reported by Mizuki Oike (one of the Applicants) and two of our colleagues (not Applicants) and was distributed in our company. In this report, it is described that two kinds of the semiconductor laser systems, both of which include the feature of the present invention, had been manufactured. More specifically, as seen in Fig. 1 and Fig. 2, the semiconductor laser systems contain a prism, Fabri-Perot Etalon (a kind of wavelength selective filter) and two photo detectors (shown as PD1, PD2 in the figures), which are typical examples of the first light quantity detector and the second light quantity detector in the present invention.

7. The angle of Fabri-Perot Etalon can be adjusted as indicated by θ in Fig. 2. Also, as seen in Fig. 2, the semiconductor laser systems contain the Wavelength Locker Driver, which detects the wavelength variation of the laser beam outputted from the laser device (shown as LD in the figures), and the Thermo Electric Coolers (shown as TEC in the figures), which suppress the wavelength variation by controlling the temperature of the semiconductor laser device.

8. It is also described in pages 1-4 in the flash report that we had tested the semiconductor laser system, and that we had recognized by the test results that both of these systems have excellent wavelength locking characteristics despite a change in injection current to the laser device.

2003年 6月27日 10時21分

フルカワデ ンコウ チネギザ イサンブ

No. 118 P. 4

9. Thus, in view of the flash report as evidence of our actual reduction to practice of the present invention by at least February 1, 2001, we believe that we invented the claimed invention prior to the filing date of US 2002/0051270A1.

10. We declare further that all statements made herein of our own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment, or both, under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and that such willful false statements may jeopardize the validity of this application or any patent issuing thereon.

Date: June 27, 2003Hiroshi Matsuura
Hiroshi MatsuuraDate: June 27, 2003Satoru Abe
Satoru AbeDate: June 27, 2003Mizuki Oike
Mizuki Oike

2003年 6月 5日 16時08分

フルカワ・ンク 行サ イング

No. 007 P. 41

社 外 秘



技 術 報 告 書 表 紙

社内公開 (可・限定)

配付先 ○印: 表紙のみ 研開本部長 ○ 研開企画部長 知的財産部長 設備部長○ ファイルフォトクス 研所長 →WP チーム長 ファイルネットワーク 研所長 →WI チーム長 →WSGr.長 ファイル製品事業部 事業部長○ 技術部長○ 光デバイス部長 光デバイス開発部長 ネットワーク事業部 事業部長○ 光システム部長 横研所長 →半研センター長 →WA チーム長 →半研 WA 回覧 基盤技術 センター長 分析技術 センター長○ 基盤技術開発センター長 →デバイス開発部長	報告書名	横研速報		発行元名	横浜研究所	
	発行日	2001 年 2 月 1 日		発行元コード	YAB	
	整理番号	S2000-0795		研究テーマ	XY01C	
	標題	波長ロッカー内蔵 DFB レーザモジュールの開発 (1) —光学実験系を用いたフィジビリティスタディー—				
	報告者 1 報告者 2 報告者 3 報告者 4 報告者 5 報告者 6 報告者 7 報告者 8 報告者 9 報告者 10	所 属	社員番号	氏 名		
	横研 信号光源開発チーム	9 5 0 5 7 1	那須 秀行			
	"	8 9 1 6 5 1	野村 剛彦			
	千葉 生産技術開発センタ	9 5 0 1 3 1	大池 瑞記			
概要 波長ロッカー内蔵 DFB レーザモジュールの開発の第 1 段階として、部品を設計し作製し、作製した光学調芯系と波長ロッカードライバを用いて設計の妥当性を確認した。実測結果から、十分な波長ロッキング特性が得られ、特に ATC 制御とは異なり、注入電流が変化しても発振波長がほとんど変わらないことを確認した。光フィルタの温度特性を考慮して LD の温度と光フィルタの温度を別々の TEC で制御する 2TEC 型と 1TEC 型を比較した結果、2TEC 型は温度依存性が無い分だけ安定しているが、1TEC 型でも十分な特性が得られることが分かった。現在、作製上優位である 1TEC 型を本命として考えているが、第一次試作では両方とも作製し特性を検討する予定である。						
備考						

Redacted

2003年 6月 5日 16時08分

フルカワデ ンコウ チネキサ イサンブ !!

No. 007 P. 42

this page
should be
redacted

This page
should be
redacted.

1.はじめに

信号光源開発チームでは、バタフライ DFB レーザモジュールの開発を進めている。既にサンプル出荷を開始している製品群には、CW タイプの高出力 DFB レーザモジュールと 2.5Gbit/s で直接変調が可能な DFB レーザモジュールがある。これらのモジュールを高機能化、高付加価値化した新製品の開発も進めており、その中に波長ロッカーを内蔵した DFB レーザモジュールがある。

波長ロッカーは隣接光信号の波長間隔が極めて狭い DWDM システムで不可欠となるキーデバイスである。多重数が高い幹線系の DWDM システムでは CW の高出力 DFB レーザモジュールを光源とし、LN 外部変調器により OC-48, OC-192, OC-768 の信号変調を行うことが通常行われる。信号光の一部を光タップで一部を切り出し、これを外付けの波長ロッカーに入力し波長をモニタしレーザモジュールの TEC 電流の制御回路にフィードバックを行う。外付け波長ロッカーは現在 WP チームにおいて開発中である。

波長ロッカーを内蔵することの利点には部品点数を減らすことにより、実装を簡単にすること、コストを下げる事が挙げられる。また、外付けロッカーでは PDL の影響があったが、内蔵では基本的に無いという利点がある。

このモジュールの開発は、特に波長モニタ部分の開発を WP チームと協力して進めている。現在、このモジュールの開発と試作がスタートしているが、まず設計の有効性を確認し、機能を確認するフィジビリティスタディを行ったので報告をする。

2.部品の構成

部品構成を図 1 に示す。部品はモジュール内に組み込める程度の大きさに設計した。LD が乗っているベースは、1.48 μ m LDM 内部のベース組立品と基本的に同じ部材を利用して組み立てられている。ただし PD キャリアが乗る部分は LD の後方光を利用する都合上、削り落とした。後方光をコリメートするためにレンズを使用している。波長モニタ部分は、WP チームで開発した外付けロッカーの光学部品をモジュール内部に組み込みが可能な大きさに設計した。ビームスプリッタにはプリズムを採用しており、光フィルタにはファブリペロエタロンを採用している。今回の実験で使用したエタロンの周期は 200GHz である。

3.実験系

実験系を図 2 に示す。WP チームで開発を行った波長ロッカーでは、ファブリペロフィルタが温度特性を有するために TEC 上に組立部品を配置する構成としている。光フィルタの温度管理は必要であるが、温度制御手法として 2 種類が考えられる。図 2 に示されるように、LD と光フィルタの温度を別々の TEC で行う構成と、LD と光フィルタを同じ TEC 上に配置して温度管理を行う手法である。双方の特性を取得し検討する。これらの実験系には、光学調芯系上に治具を配置し、プローブによって給電が出来る。波長ロック実験を実際に行い、かつ部品から出力されている信号をモニタするには、波長ロッカー用のドライバが必要であるので今回新たに設計して作製した。

図 3 には実験系の写真を示す。(a)が光学調芯系であり、治具を変えることで 1TEC 及び 2TEC の実験系を構成できる。(b)は波長ロッカードライバである。写真はパネル部分であり、各種信号モニタ、切り替えスイッチ、回路調整ボリュームが取り付けられている。モニタ部は数多くつけられており、PD 電流、TEC を制御する信号、サブマウント温度、注入電流等ほとんどすべての信号をモニタすることが出来る。

4. 波長ロックの時間応答

波長ロックの時間応答を 2TEC の構成にて測定した。

4.1. 波長ロッカー投入時の挙動

パッシブ部品にて得られる波長特性を利用して波長ロックを行った。図 4 に波長ロッカーを駆動した際の時間に対する波長の測定結果を示す。波長ロッカーを ON すると安定化される波長に移動し、安定化される。この系では安定化までに約 70 秒を有している。本実験は光学調芯系上で行っているのも部品治具の影響などにより熱抵抗が高い状態になっている。実際にモジュールにした場合はもっと早くなるはずである。

4.2. 波長安定性の確認

光学調芯系上での安定化なので長時間の安定性は期待できないが、20 分間 1 秒毎に波長を測定した結果を図 5 に示す。測定結果から波長変動は 1pm であり、十分に発振波長を安定化していると言える。

5. 光フィルタの温度依存性とロック波長への影響

2TEC の構成で検討を行った。

5.1. 光フィルタの温度特性

光フィルタ近傍にサーミスタを取り付けておき、サーミスタで温度をモニタして ATC により温度制御を行った。光フィルタ部分の温度可変範囲は装置によって制限されており、15~35℃である。図 6 は光フィルタの波長特性を光フィルタのサブマウント温度をパラメータとして測定した結果である。温度特性は 4.6pm/℃と見積もられ、温度が高いほど長波長にずれる。

5.2. ロック波長と光フィルタの温度特性の関係

波長ロッカーを駆動して発振波長を固定した。LD は APC で駆動した。光フィルタのサブマウント温度を変化させてロック波長を測定した結果が図 7 である。4pm/℃程度の依存性で、光フィルタサブマウント温度の上昇に伴い、発振波長が長波長へシフトしている。光フィルタの温度特性と比較すると若干小さい依存性となっているが、ほぼ一致している。図 8 に示すように PD1 と PD2 の比を測定した結果、PD1/PD2 の値は一定と見なすことができるので、波長ロッカーは光フィルタのサブマウント温度に追従して動作している。

6. 後方光出力と PD 電流の関係

入射する光出力を一定にして光フィルタの特性を反映する PD1 の電流値が最大となる発振波長となるように LD のサブマウント温度(T_{as})を調整した。この時 $T_{as}=27.3^{\circ}\text{C}$ となった。注入電流 60mA における後方光の全パワーを測定した結果 3.86mW であった。LD は前後面ともにクリープである。前方の光出力をレンズとファイバを介して測定して、相対的な I-L を得た。これから後方光出力の I-L 特性を見積もった結果が図 9 である。

$T_{as}=27.3^{\circ}\text{C}$ 、注入電流が 60mA の時、PD1 の電流は 202.5 μA 、PD2 の電流は 204.3 μA であった。PD の感度 S はおよそ 0.9~1 くらいという結果が得られているから、光結合効率に換算すると、PD1、PD2 と

もに 5~6% くらいの結合効率となる。

7. 注入電流とロック波長の特性

7.1. 2TEC 構成の特性

比較のために ATC で駆動した場合についても検討する。ロッカーと ATC 双方の結果を図 10 に示す。注入電流に対する発振波長だけではなく、LD サブマウントの温度の測定結果も示されている。ATC の場合、LD のサブマウント温度を一定に保っているため、注入電流を増加すると発振波長が長い方へシフトする。その温度依存性は、 $0.01\text{nm}/^\circ\text{C}$ である。これに対して波長ロッカーは、波長を一定に保つために、電流増加に伴い LD のサブマウント温度を下げていくことが分かる。電流が小さい領域では波長変化が大きい。60mA 以上になると非常によく安定している。20~100mA の範囲における波長ずれは 0.073nm 、60~100mA では 0.001nm となっている。これは注入電流が小さい領域では PD 電流が小さく、回路へ入力する信号入力が小さく、信号の精度が悪いためであると考えられる。注入電流に対する PD1/PD2 の比を図 11 に示す。波長ロックは PD1 と PD2 の差を検出して、これが 0 となるように制御する。従って、PD1/PD2 は理想的に一定となる。しかし、注入電流が小さい領域では PD 電流の比は傾きを持っており、電流増加にしたがって飽和すなわち一定になる傾向にある。この回路では精度良くロックするにはある程度の PD 電流、実測では 0.2mA 程度必要であることになる。しかしこれは回路の問題であって、モジュール的には十分な特性である。

7.2. 1TEC 構成の特性

図 12 は、一体型(1TEC)波長ロッカーと ATC を駆動した場合の注入電流と発振波長の関係である。ATC 駆動時の波長の電流依存性は $0.01\text{nm}/\text{mA}$ である。一方波長ロッカーでは波長ずれが ATC と比較して非常に小さく、電流の増加に伴い波長が長波に僅かにシフトして安定になり、その後短波へなだらかにシフトする傾向が見られる。この現象を検証するために波長ロック時の PD 電流の比を測定した結果を図 13 に示す。PD 電流は注入電流が 80mA 程度から上昇すると一定値に飽和してくることが分かる。注入電流が小さい領域では光出力が小さいため、回路のフィードバックに用いる PD 電流が小さい故に、回路の精度が悪いためと推測される。電流が大きくなると PD 電流比は一定に近づいており、ロッピングの動作原理と整合しており問題なく動いている。波長ロッカーは電流増加による発振波長の長波へのシフトを LD のサブマウントの温度を下げることで補正している。その結果を図 14 に示す。LD と光フィルタは同じサブマウントに乗っているため、サブマウント温度が下がると光フィルタの温度特性の影響が出るものと考えられる。フィルタの温特は $4.6\text{pm}/^\circ\text{C}$ である。95mA 以上では発振波長は電流増加に対応してほぼ一定値で短くなっている。95~110mA(範囲 15mA)において、サブマウント温度の変化は、 2.45°C であり、発振波長のずれは 0.01nm となっている。光フィルタの温度依存性 $4.6\text{pm}/^\circ\text{C} \times 2.45^\circ\text{C} = 0.0112\text{nm}$ となり、波長ずれと光フィルタの温特は一致する。

2. 分離型と一体型の比較

分離型と一体型を駆動した際の特性を比較した結果を図 15 に示す。一体型では前述したように光フィルタの温特があるので、電流の増加に対応して波長が短くなる特性がある。これに対し分離型では光フィルタの温度を一定に保つので電流増加に対して発振波長が短くなる特性がなく、一体型と比較して安定な特性となっている。特性を比較して表 1 にまとめると、

表1 2TEC, 1TEC 波長ロッカー及び ATC の比較(注入電流依存性)

電流範囲	80mA	40mA
1TEC 型	0.087nm(20~100mA)	0.011nm(60~100mA)
2TEC 型	0.073nm(30~110mA)	0.001nm(70~110mA)
ATC	0.8nm	0.4nm

実験では調芯の都合で、一体型の方が相対的な PD 電流が小さかったので注入電流を 10mA 多く流した。電流が小さく回路の精度が悪い領域を含まなければ、If の電流変化が例えば 40mA あっても一体型では 0.011nm、分離型では 0.001nm となる。

波長ロッカーは LDM の BOL と EOL での発振波長変化を押さえるために使用されるが、BOL から EOL においての注入電流変化は、バイアス電流の 10% 上昇以下程度である。例えば 20mW LDM において最大仕様は 140mA である。この 10% の電流上昇となると 14mA の上昇である。波長ロッカーを駆動していれば一体型、分離型に関わらず少なくとも 0.01nm 以下の波長ずれは期待できると考えられる。

実験から分離型の方が波長安定性は良いことが分かったが、1TEC 型でも使用する上では十分であると思われる。モジュールの組立という観点では、1TEC 型の方が容易であるので、こちらが本命ではないかと考えている。

8.まとめ

波長ロッカー内蔵モジュールを試作する前段階として、まず部品を設計し作製を行った。評価系として、光学調芯系及び波長ロッカードライバを設計し作製した。光学系上の実験から、現在の設計部品で十分に波長ロックが可能であることが確認され、設計の妥当性が示された。また従来の ATC と比較して、極めて高い波長安定性を有することが確認され、その有効性が立証された。

またモジュール構成上、光フィルタの温度特性を考慮して、波長ロッカー部分を LD とを別々の TEC 上に配置した 2TEC 構成、同じ TEC に配置した 1TEC 構成について検討を行った結果、注入電流と発振波長の関係から 2TEC の方が光フィルタの温特が無いため非常に安定しているが、1TEC でも十分な安定度が得られる。またフィルタの温度特性は予め分かっているためボードメーカにおいて補償が可能である。従って、開発対象は 1TEC が本命と考えている。第一次試作では双方とも試作を行っており、両方の特性を取得する。この検討結果は後日報告するが、この時点で開発方針を明確にする。

部品作製に御協力頂いた光デバイス部木村氏に感謝します。

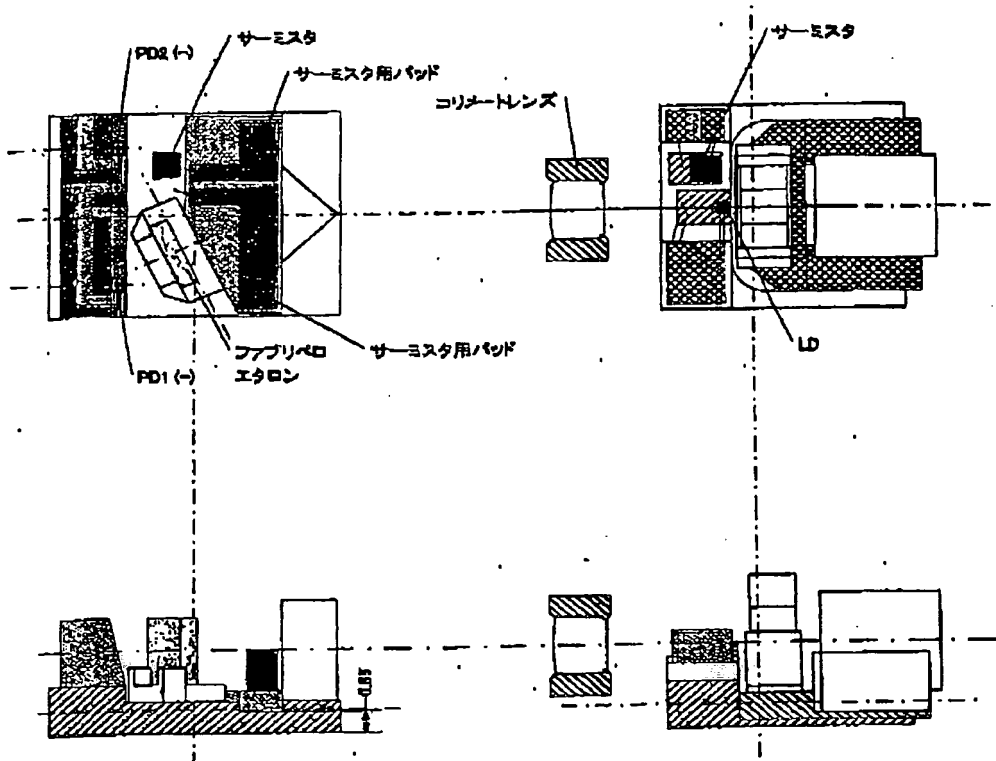


図1 部品構成

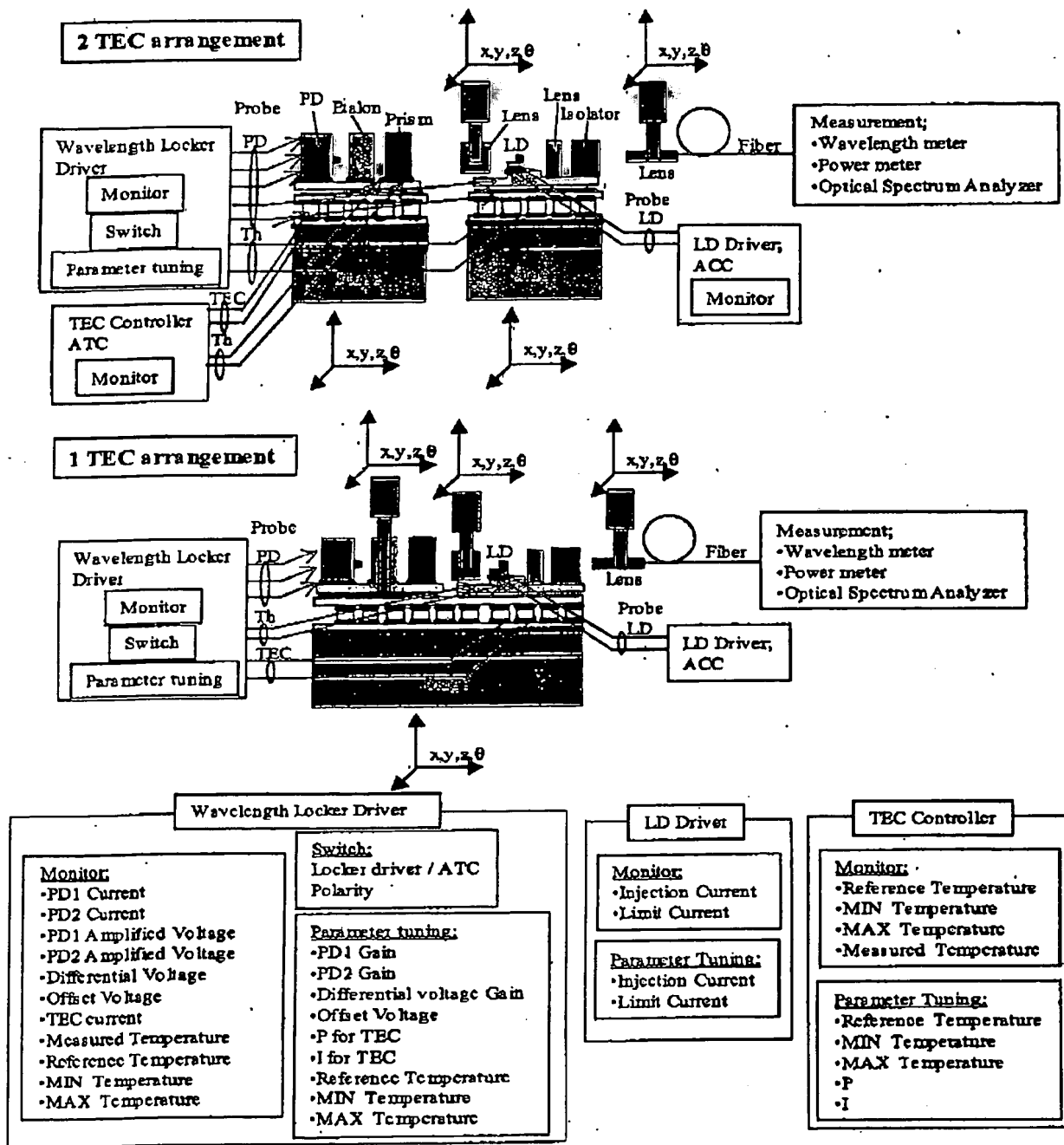


図2 実験系の構成

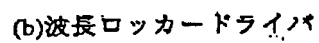
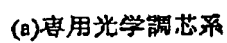


図3 実験系の写真

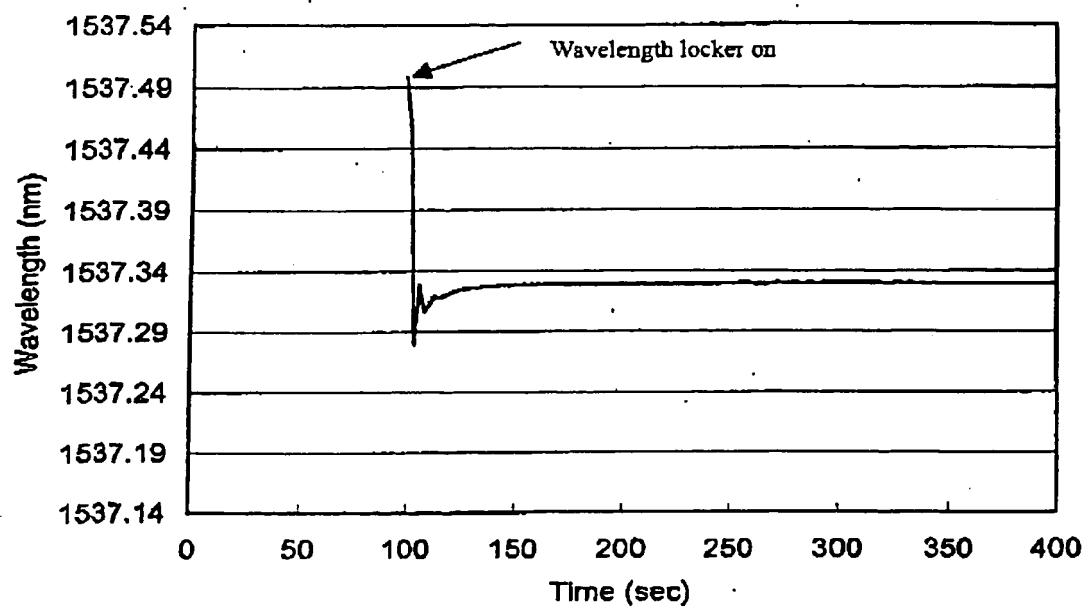


図 4 波長ロッカー投入時の時間応答

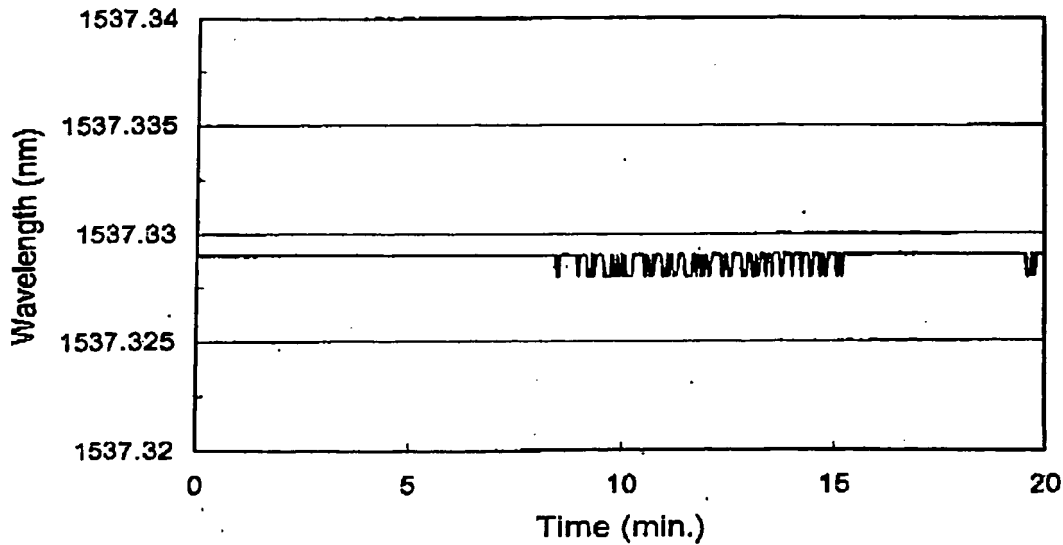


図 5 時間経過に対する発振波長の測定結果

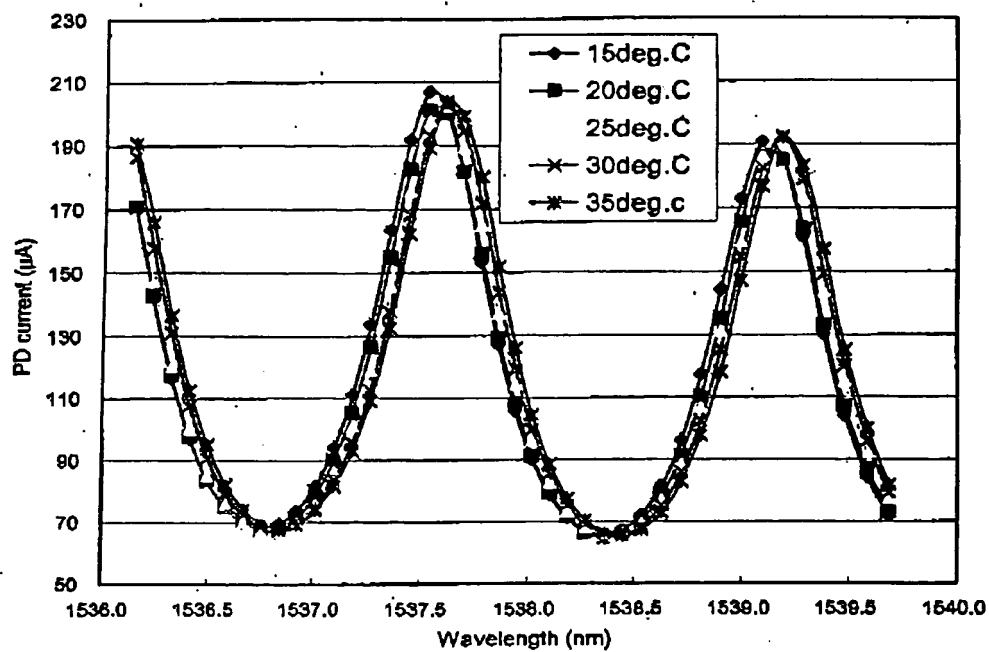


図 6 光フィルタの温度特性

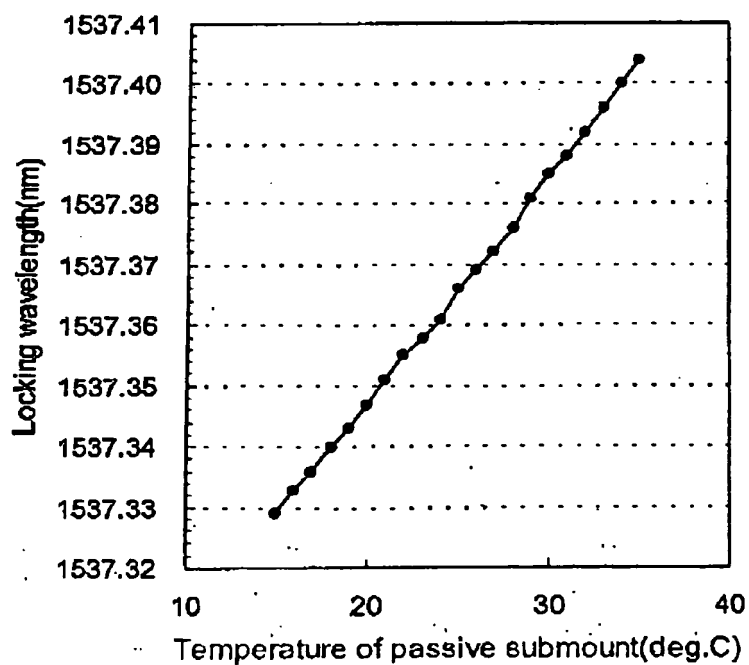


図 7 光フィルタのサブマウント温度とロック波長の関係

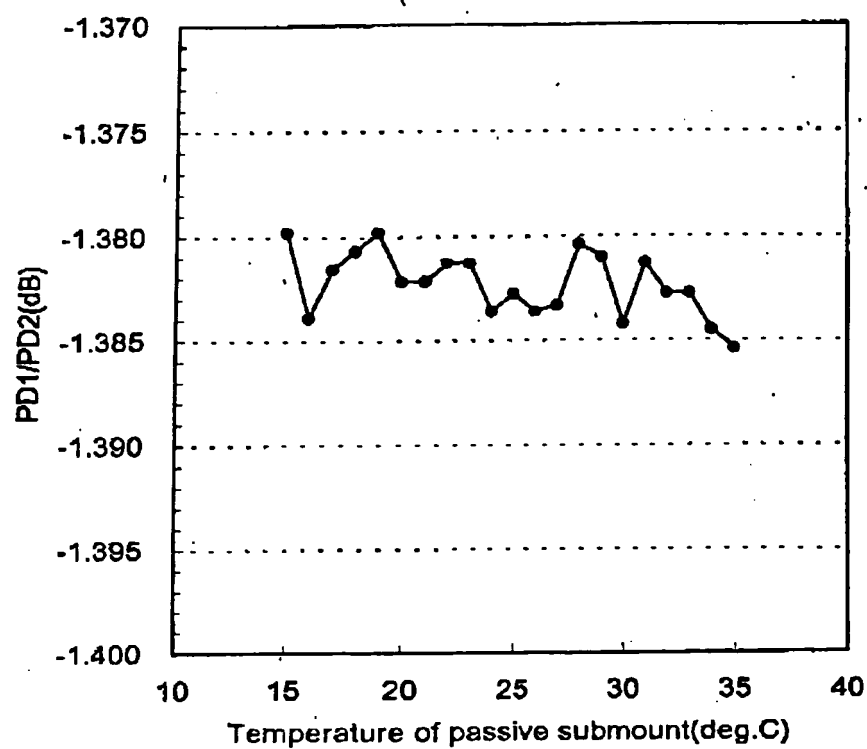


図8 光フィルタのサブマウント温度と PD1 と PD2 の比の関係

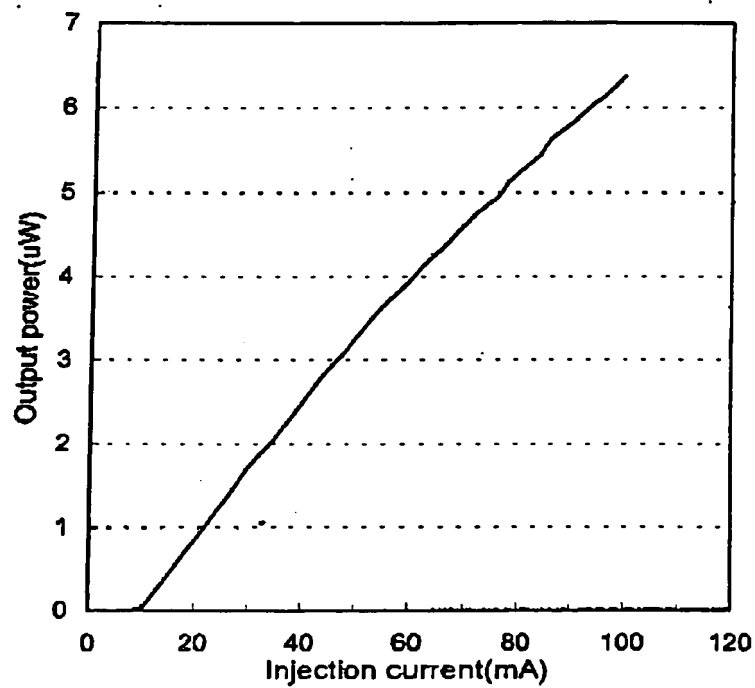


図9 後方光出力を見積もった結果

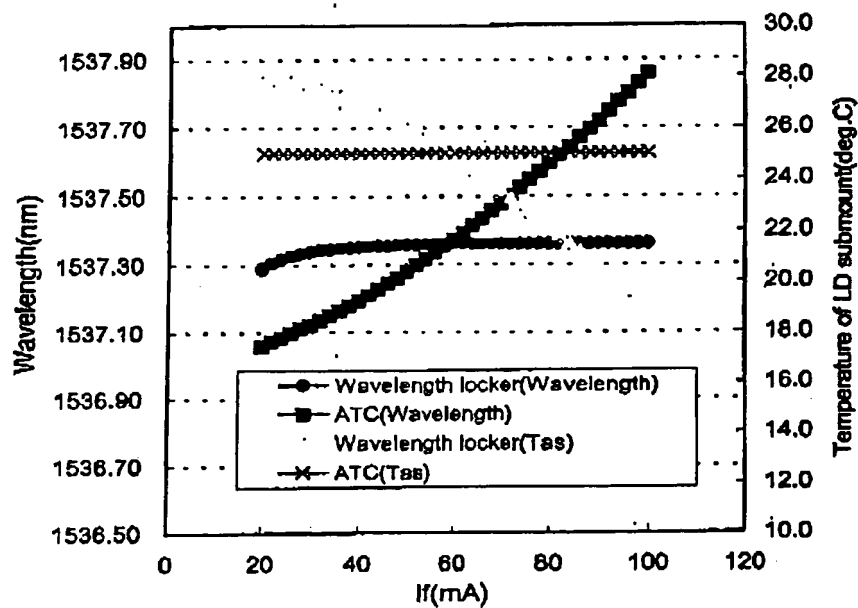


図 10 注入電流に対する発振波長と LD サブマウント温度の関係. ATC と 2TEC ロッカーの比較

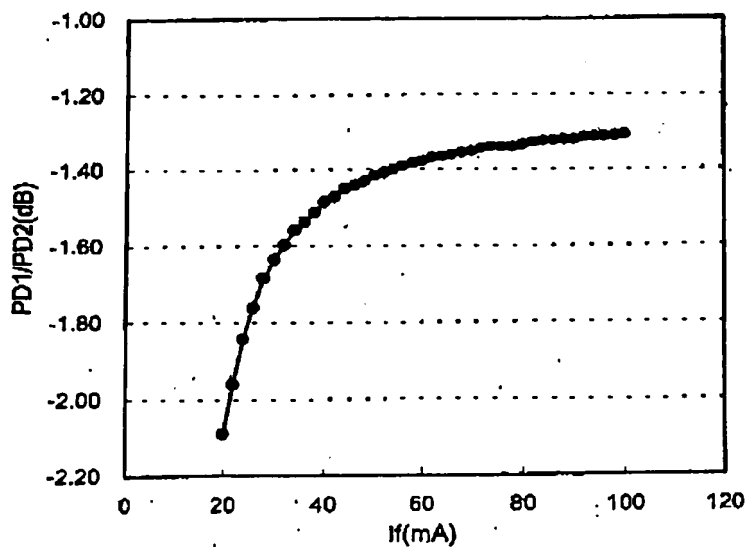


図 11 注入電流に対する PD1/PD2 の関係. 2TEC 構成.

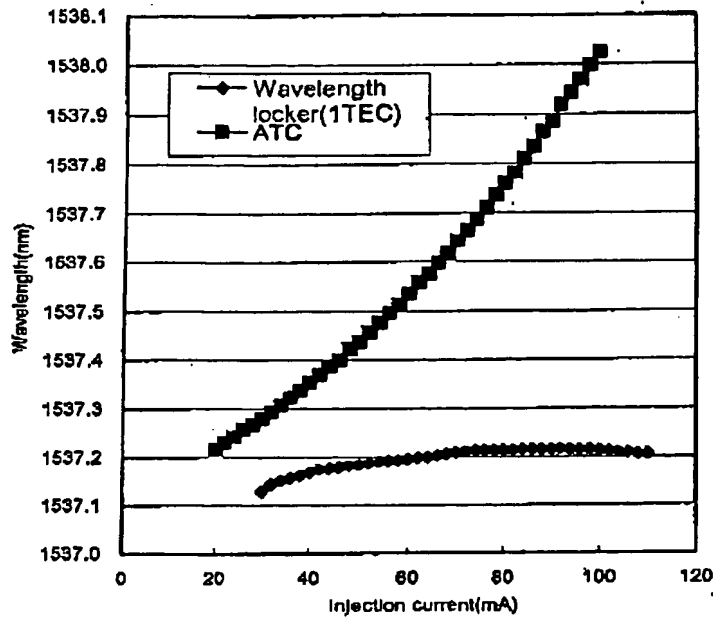


図 12 注入電流に対する発振波長の関係. ATC と 1TEC ロッカーの比較

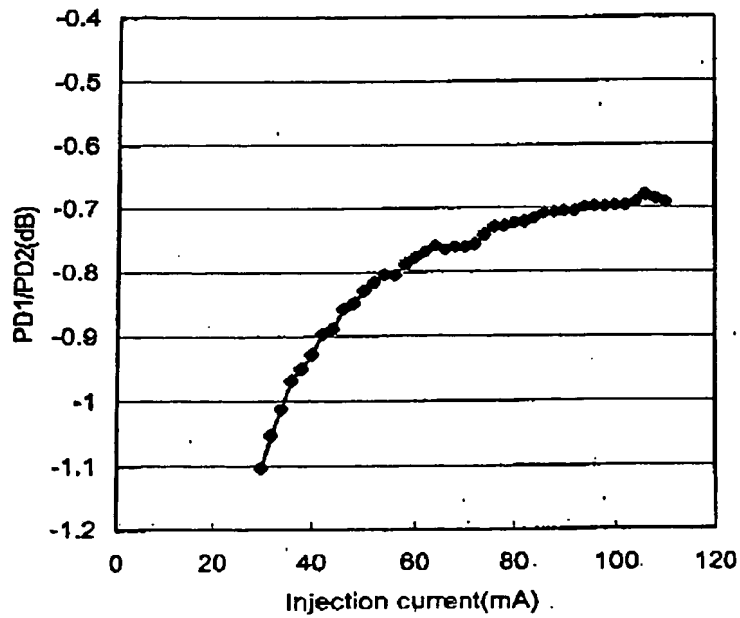


図 13 注入電流に対する PD1/PD2 の関係. 1TEC 構成.

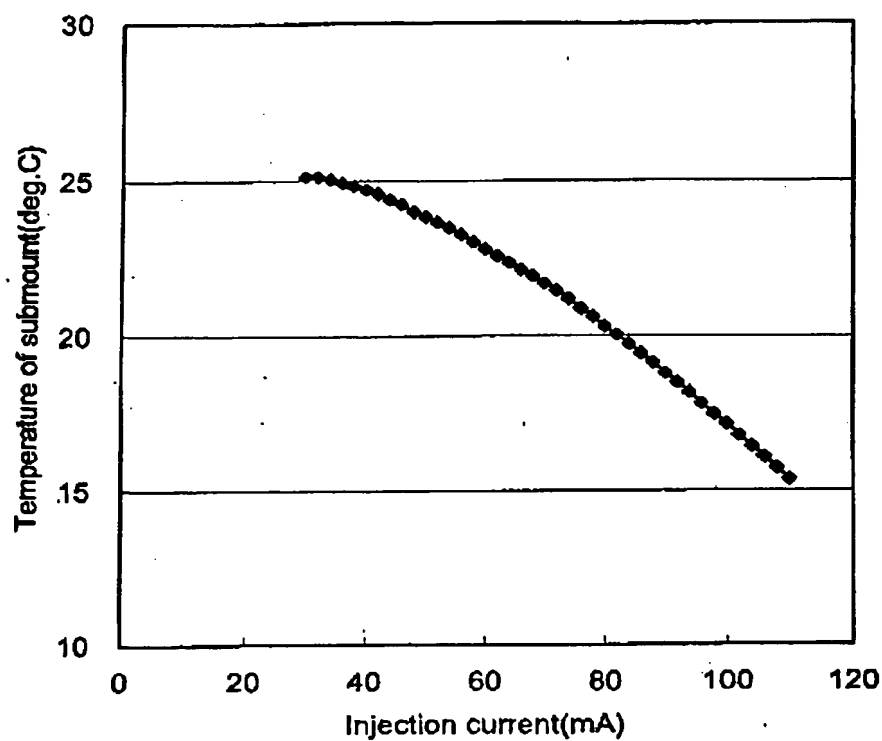


図 14 ITEC 波長ロッカー動作時の注入電流と LD サブマウント温度の関係